

# Morphological investigations of selected echinoids

Katja Jaszkwowiak; Katja\_Jaszkwowiak@yahoo.de  
Sascha Hentschel; sahentschel@gmx.de

## Abstract

Echinoids have a radial pattern that is formed by skeletal plates which are fused to each other and form rows that run from the oral to the aboral surface. These plates can be divided into ambulacral and interambulacral plates. The ambulacral plates are perforated and therefore allow the ambulacral system within the animal a connection with its surrounding. Another important aspect of echinoid morphology is the digestive tract that is situated in a special way within the animal and can be used as a phylogenetic marker showing an additional caecum in some echinoid groups (Ziegler et al., 2010). We also investigated the gonads as they were situated in different positions within the investigated species and also show a different morphology. There are numerous different studies into echinoid biology but many of them focus on very specialized aspects. By investigating three different species belonging to two different echinoid groups (*Gracilechinus acutus* (Lamarck, 1816), *Echinus esculentus* (Linnaeus, 1758) - Echinidae (Echinodermata – Echinoidea – Carinacea); *Brissopsis lyrifera* (Forbes, 1841) - (Echinodermata – Echinoidea – Irregularia)) we tried to give a

## Einleitung

Die Echinoidea verfügen häufig über einen speziellen radiärsymmetrischen Aufbau. Hierbei liegen miteinander verbundene Skelettplatten in Form von Reihen, welche von oral nach aboral verlaufen, nebeneinander und bilden ein meist annähernd globuläres Innenskelett. Diese Platten lassen sich in Ambulakralplatten und Interambulakralplatten unterteilen, welche abwechselnd angelegt sind. Erstere weisen Poren auf, durch die eine Verbindung des Ambulakralsystems im Inneren mit der Umgebung ermöglicht wird. Dies bietet den Tieren verschiedene Möglichkeiten der Atmung, Fortbewegung, sowie den Transport von Stoffen betreffend. Ausserdem weist das Skelett verschiedene bewegliche Stacheln und sogenannte Pedicellarien auf. Der Mund befindet sich auf der oralen Seite. Viele Arten verfügen über eine sehr komplexe Struktur zur Nahrungsaufnahme, die Laterne des Aristoteles (Ruppert et al., 2004). Der Verlauf und Aufbau des Darms ist

ebenfalls sehr komplex und kann für phylogenetische Studien verwendet werden (Ziegler et al., 2010). Der After befindet sich bei vielen Arten gegenüber des Mundes auf der Aboralseite des Tieres. Um ihn herum sind verschiedene spezielle Platten angeordnet, welche Poren zur Abgabe von Spermata bzw. Eizellen oder als Verbindung des Ambulakralsystems mit der Aussenwelt besitzen. Eine dieser Platten ist meist zur sogenannten Madreporitenplatte umgewandelt (Ruppert et al., 2004). Bei den Irregularia, welche nicht über einen radiärsymmetrischen Aufbau verfügen, ist der After nach posterior verschoben (Ryland & Hayward, 1995). Die Echinoidea sind eine gut untersuchte Gruppe der Echinodermata (Ziegler et al., 2012). Allerdings befassen sich viele Studien mit speziellen, einzelnen Teilaspekten der Echinoidea (z.B. Afzelius, 1955; Wang et al., 1997). In dieser Arbeit wird versucht eine Brücke über die verschiedenen Untersuchungen zu

schlagen und die verschiedenen Merkmale ausgesuchter Echinoidea vergleichend darzustellen. Bei diesen Merkmalen handelt es sich um den allgemeinen Aufbau des Innenskeletts inklusive der Pedicellarien, dem Ambulakralsystem, der Laterne des Aristoteles mit Verdauungssystem und den Gonaden. Die ausgewählten Vertreter

sind *Echinus esculentus* (Linnaeus, 1758) und *Gracilechinus acutus* (Lamarck, 1816) als Vertreter der radiärsymmetrischen Echinidae und diesen gegenüber gestellt, *Brissopsis lyrifera* (Forbes, 1841), welcher zu der Gruppe der Irregularia gehört.

### Material und Methoden

Für die vorliegende Studie wurden drei Seeigel unterschiedlicher Arten untersucht. Dies waren *Echinus esculentus* (Linnaeus, 1758) und *Gracilechinus acutus* (Lamarck, 1816) als Vertreter der Echinidae sowie *Brissopsis lyrifera* (Forbes, 1841) als Vertreter der Irregularia. Die Individuen der Art *Echinus esculentus* und *Brissopsis lyrifera* wurden während der meeresbiologischen Exkursion der Humboldt-Universität zu Berlin vom 26.09.2013 – 04.10.2013 während einer Ausfahrt mit dem Forschungsschiff "Belone" mittels eines Grundschieppnetzes gesammelt. Der Vertreter der Art *Gracilechinus acutus* stammte aus einer kurz zuvor durchgeführten Exkursion der Universität Uppsala. Alle Tiere wurden im September 2013 im Gullmarsfjord in Schweden gefangen. Die gesammelten Seeigel wurden vor der Präparation in Aquarien mit fließendem Meerwasser bei etwa 10°C gehalten. Die Tiere wurden vor dem Sezieren mit mentolversetztem Süßwasser betäubt. Anschließend erfolgte die Präparation mit üblichem Präparierbesteck, wobei bei den regulären Seeigeln besonders eine starke Präparierschere zum Einsatz kam. Um den Darm der Tiere nicht zu verletzen wurde die Aufpräparation mit einem flach geführten Schnitt, durch das Kalkskelett zwischen zwei Ambulakralfüßchenreihen

von kurz vor dem After bis kurz vor der Mundöffnung begonnen. Nach diesem Schnitt wurden die Darmaufhängungen lokalisiert und durchtrennt. Wenn es möglich war wurde das Skelett so präpariert, dass die Bereiche mit Darmaufhängungen unbeschadet gelassen wurden. Der Einschnitt wurde zu einer der beiden nächst liegenden Ambulakralfüßchenreihen erweitert. Die nun frei liegende Leibeshöhle des Tieres wurde dokumentiert und der Darm, Fettkörper sowie Gonaden entfernt. Der Einschnitt wurde zur Laterne des Aristoteles erweitert. Die Laterne wurde ausgeschnitten und samt Skelettumrandung entfernt. Anschließend wurde auch die Laterne sowie die Schalenteile unter dem Binokular untersucht und dokumentiert. Der irreguläre Seeigel wurde an der Oberseite geöffnet entlang der auffälligen Reihe kurzer, dunkel gefärbter Stacheln. Diese Reihe verläuft auf der apikalen Seite der Tiere in einem unregelmäßigen Kreis und schließt den Darmausgang nicht mit ein. Dadurch sollte der Darm und andere Organe möglichst wenig verletzt werden. Nach abgeschlossener Dokumentation wurde der Verdauungstrakt bis zum Ösophagus entfernt. Die Dokumentation erfolgte über zwei Kameras, zum einen mit einer Panasonic DMC-FS6 und einer Nikon 1 J1.

### Ergebnisse

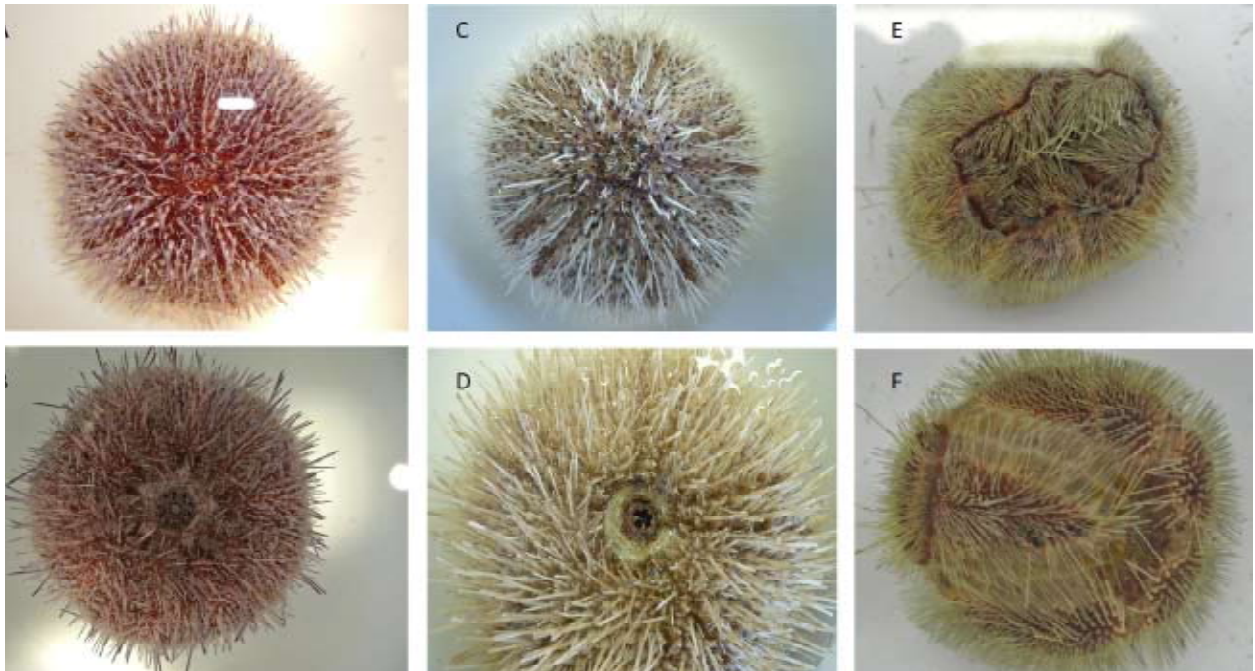
Im Folgenden werden die untersuchten Merkmale von *Echinus esculentus* (Linnaeus, 1758), *Gracilechinus acutus* (Lamarck, 1816) und *Brissopsis lyrifera* (Forbes, 1841) beschrieben. Es handelt sich um den allgemeinen Aufbau des Gehäuses und Teile des Skelettsystems, wie die Pedicellarien oder die Laterne des Aristoteles sowie um Weichteilmerkmale, wie das Ambulakralsystem, dem Verlauf des Verdauungstrakts, sowie die Gonaden.

Echinidae (Echinodermata – Echinoidea – Carinacea)

*Echinus esculentus* (Linnaeus, 1758)

Bei *Echinus esculentus* handelt es sich um

einen grossen, globulären Seeigel mit einem Durchmesser von 97 mm und einer Höhe von 85 mm. Die Färbung ist rot mit rötlichen Stacheln, welche ueber violette Spiten verfuegen. Alle Stacheln sind von ähnlicher Länge. Die Ambulacralfuesschen besitzen an den Spitzen zu Saugnäpfen umgewandelte Strukturen. Die Pedicellarien bestehen aus einem verkalkten Stiel, welcher in einen weichen, beweglichen Schlauch uebergeht. Dieser endet in einem dreigliedrigen Köpfchen, welches sich zangenartig öffnen und schliessen kann. Direkt hinter der Mundöffnung liegt die Laterne des Aristoteles. Sie ist eine komplex aufgebaute Struktur, welche ueber jeweils fuenf Zaehne



**Abb. 1:** Verschiedene Seeigelarten, Habitus oben: Ansicht von aboral, unten: Ansicht von oral; (A,B) *Echinus esculentus*; (C,D) *Gracilechinus acutus*; (E,F) *Brissopsis lyrifera*.

mit dazugehörigen Kiefern (Pyramiden) versehen. Diese sind durch transvers verlaufende Muskeln sowie weitere Skelettelemente miteinander verbunden und bilden eine funfstrahlige radiärsymmetrische Struktur (Abb. 1). Der Muskelapparat der Laterne verfügt an verschiedenen Stellen des Kiefers und der Zähne über Ansatzpunkte und ermöglicht dadurch komplexe Bewegungsabläufe während der Nahrungsaufnahme (Abb. 4). Innerhalb der Laterne verläuft der Oesophagus und geht anschliessend in das Verdauungssystem über. Der Verlauf des Darms lässt sich als doppelt spiralförmig beschreiben. Er zieht von der Laterne nach aboral zum Skelett und anschliessend girlandenförmig entlang der Innenwand. An dieser ist er über Mesenterien aufgehängt. Dabei umrundet er das gesamte Skelett fast vollständig, schlägt dann nach aboral um und

verläuft erneut in einer zweiten Schleife über der Unteren zurück. Anschliessend mündet er im After, welcher in der Mitte der Aboralseite liegt (Abb. 1).

Die Gonaden von *Echinus esculentus* sind ebenfalls radiärsymmetrisch angelegt. Sie befinden sich im oberen Bereich des Skeletts und lassen sich in fünf einzelne Gonaden, ohne Verbindung untereinander, unterteilen. Die Ausführungsgänge der Gonaden münden in Platten des Innenskeletts, welche um den After auf der Aboralseite liegen (Abb. 3).

#### *Gracilechinus acutus* (Lamarck, 1816)

Bei *Gracilechinus acutus* handelt es sich um einen grossen, globulären, leicht kegelförmigen Seeigel mit einem Durchmesser von 130 mm und einer Höhe von 97 mm. Die Färbung ist weiss mit leicht braunen Steifen



**Abb. 2:** Verlauf des Verdauungssystems (A) *E. esculentus*, der Pfeil zeigt den Beginn des Darms bei seinem Verlauf von der oralen Seite (B) *G. acutus*, der Pfeil zeigt den Darm und seine Aufhängung über Mesenterien am Skelett (C) *B. lyrifera*, der Pfeil zeigt auf den Darm, der in Richtung After zieht, unterhalb des Pfeils sieht man das Caecum als dunkel gefärbte Struktur.





**Abb. 3:** Die Gonaden der Echinoidea (A) *Echinus esculentus*, der Pfeil zeigt eine der Gonaden (B) der Pfeil zeigt die Ausführgänge der Gonaden von *E. esculentus* (C) Darstellung der Muendungen der Ausführgänge (Pfeil) von *E. esculentus*, Ansicht von aboral (D) Fett haltige Organe (Pfeil) von *G. acutus*, Innenansicht (E) die Ausführgänge der Gonaden (Pfeil 1) und Madreporenplatte (Pfeil 2) von *B. lyrifera*, Innenansicht.

entlang der Ambulacralplatten. Die Spitzen sind ebenfalls weiss mit einer rötlich gefärbten Basis. Die Stacheln sind unterschiedlich lang. Die Ambulacralfuesschen besitzen an den Spitzen zu Saugnäpfen umgewandelte Strukturen. Die Pedicellarien bestehen aus einem verkalkten Stiel, welcher in einen weichen, beweglichen Schlauch uebergeht. Dieser endet in einem dreigliedrigen Köpfchen, welches sich zangenartig öffnen und schliessen kann. Auch *Gracilechinus acutus* verfuegt ueber eine Laterne des Aristoteles als Kauapparat. Der Aufbau entspricht dem von *Echinus esculentus*.

Die Ansatzstellen der Muskeln an den entsprechenden Skelettplatten sind sehr gross (Abb. 4). Bei *Gracilechinus acutus* lässt sich der Verlauf des Darms als doppelt spiralig und als, ueber Mesenterien girlandenförmig an der Innenwand des Skeletts aufgehängt, beschreiben. Ausserdem liessen sich Verwachsungen des Darms mit sehr fetthaltigen Organen finden. Diese sind ebenfalls radiärsymmetrisch an der Innenwand des Skeletts aufgehängt und untereinander verbunden. Die Lage stimmt hier mit der der Gonopoden ueberein (Abb. 3).



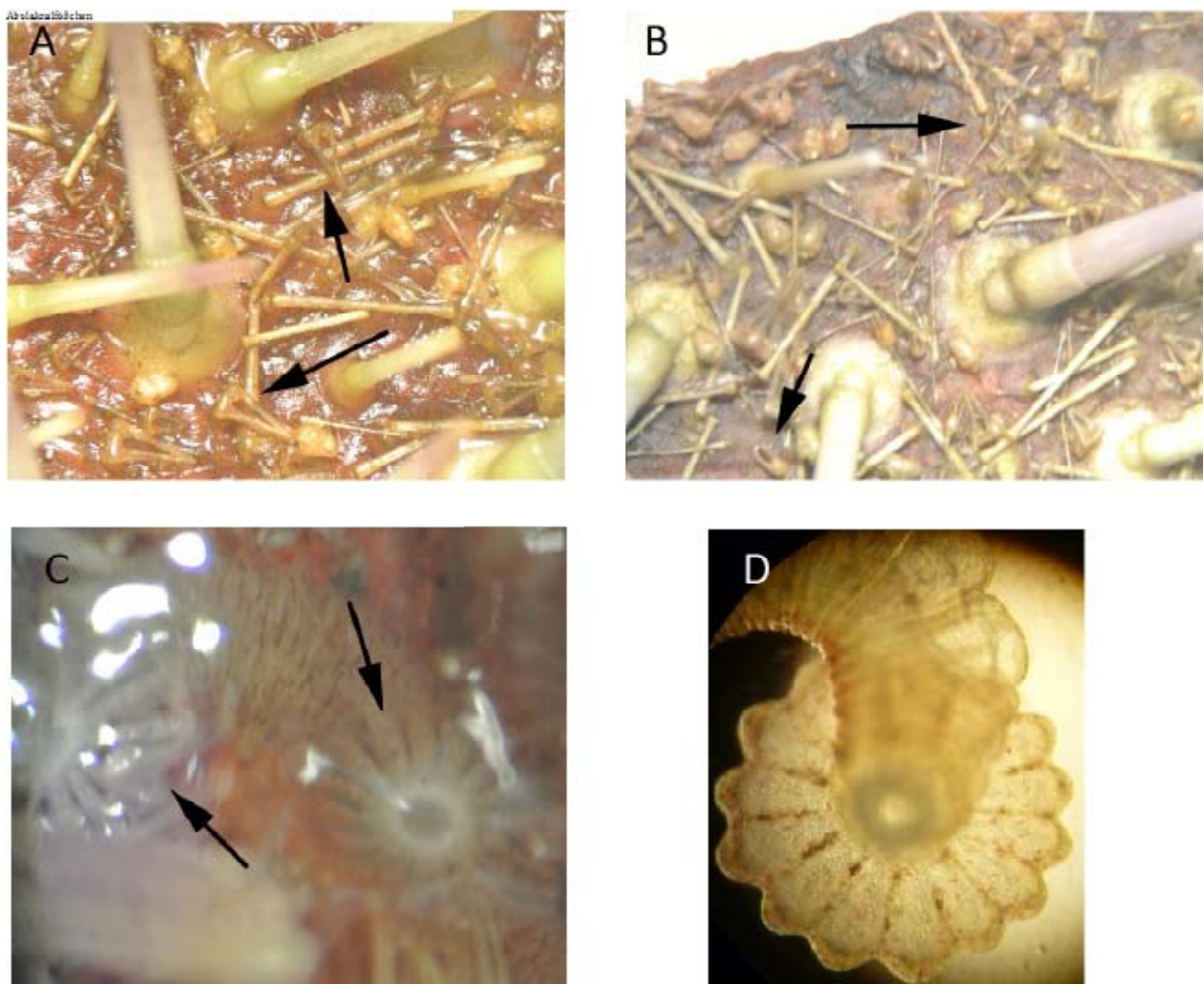
**Abb. 4:** Die Laterne des Aristoteles (A) *E. esculentus* (B) *G. acutus* (C) freipräpariert, links *E. esculentus*; rechts *G. acutus* (D) Mundöffnung von *B. lyrifera*, Innenansicht.

Brissidae (Echinodermata – Echinoidea – Irregularia)

*Brissopsis lyrifera* (Forbes, 1841)

*Brissopsis lyrifera* gehört zu den irregulären Seeigeln und weist eine von den regulären Seeigeln abgewandelte Anatomie auf. Er verfügt über eine dorsoventral leicht abgeflachte, ovale Körperform mit einer Länge von 48 mm. Er ist 27 mm hoch und 40 mm breit. Die Pentamerie dieser Art, wenn auch nicht mehr radialsymmetrisch, lässt sich trotz dieser Abwandlungen erkennen (Abb. 1). Er besitzt eine rötlich, braune Färbung der Interambulacralplatten mit weißen Stacheln. Ausserdem findet man eine dunkel rötlich gefärbte Struktur bestehend aus kleineren Pedicellarien und Stacheln, sowie einer gallertigen Substanz in Form einer Leier auf der Aboralseite (Abb. 1). Das Ambulacralsystem wurde zu verschiedenen Strukturen an verschiedenen Stellen des Körpers umgewandelt. Im aboralen Bereich finden sich zum Gasaustausch genutzte Struk-

turen des Ambulacralsystems und im Bereich des Afters und der Madreporenplatte sind zwei verschiedene Varianten von Ambulakralfueschen mit schirmchenartigen Verbreiterungen am distalen Ende des Schafts auffindbar (Abb. 5). Die Pedicellarien bestehen aus einem Stiel welcher in einem dreigliedrigen Kopf, der sich ähnlich einer Zange öffnen und schliessen lässt, endet. Die Mundöffnung befindet sich auf der oralen Seite des Tieres. Sie wird durch weiche Skelettplatten gebildet und verfügt an der Öffnung über kleine zahnartige Strukturen. Eine Laterne des Aristoteles ist nicht vorhanden. Kurz nach der Mundöffnung geht der Oesophagus in ein Caecum über. Hierbei handelt es sich um eine sackförmige Ausstülpung des Darms. Der Verlauf des Darms ist doppelt spiralförmig. Nach dem Caecum verläuft der über Mesenterien an der Innenwand des Skeletts aufgehängte Darm kreisförmig entlang des Skeletts. Nach einer fast vollständigen Umrundung schlägt der



**Abb. 5:** Skelettelemente in Form von Stacheln und Pedicellarien (A) *E. esculentus* (B) *G. acutus* (C) Ambulakralfueschen von *B. lyrifera*.

Darm um und verläuft entlang der Innenwand wieder zurueck. Ab dieser Umschlagstelle ist die Darmwand anders aufgebaut. Bis dorthin war es möglich den Inhalt des Darms (Sediment) durch seine Farblose Wand zu sehen, danach ist dies aufgrund einer gelben Färbung nicht mehr möglich. Ausserdem erscheint die Darmwand ab diesem Punkt stabiler und reissfester. Nachdem der Darm dann um ca.  $\frac{3}{4}$  der Innenwand zieht, verläuft er nach dorsomedial in Richtung des Afters, welcher sich weiter

posterior befindet. Interessant ist hier der Punkt, dass After und Madreporenplatte nicht an der gleichen Stelle des Körpers liegen. Die Madreporenplatte und die Ausführungsgänge der Gonaden (Abb. 3) befinden sich auf der gegenueberliegenden Seite der Mundöffnung. Allein der After ist nach posterior verlagert. *Brissopsis lyrifera* verfuegt ueber vier Gonaden. Diese sind an den vorderen vier Interambulakralplatten im Tier aufgehängt und nicht miteinander verbunden.

## Diskussion

Die beiden zu den Echiniden gehörenden Arten *Echinus esculentus* und *Gracilechinus acutus* ähneln sich in vielen Aspekten. Unterschiede sind in der leicht abweichenden Form zu finden. *E. esculentus* ist eher globulär geformt während *G. acutus* leicht kegelig erscheint. Zusätzlich dazu sind die Stacheln bei *G. acutus* unterschiedlich lang. Wesentlich auffälligere Unterschiede finden sich in den Gonaden bzw. sehr fetthaltigen Strukturen. Diese sind bei *E. esculentus* nicht miteinander verbunden, ziehen sich aber bei *G. acutus* durch das gesamte Tier. Es ist ausserdem nicht klar in welchem Verhältniss beide Strukturen stehen, da sie bei den beiden Arten an den gleichen Stellen gefunden wurden. Eine mögliche Erklärung wäre die Speicherung von Fetten während sich die Tiere nicht in einer Phase der Fortpflanzung befinden. Somit könnte dies als Reserve dienen, sobald die Gonaden zum Einsatz kommen. Da keine hinreichenden Informationen ueber diese Strukturen bekannt sind, handelt es sich allerdings bei diesen Ueberlegungen um reine Mutmassungen.

Die Laterne des Aristoteles lässt bei beiden Arten keine wesentlichen Unterschiede erkennen. Die unterschiedliche Grösse ist wahrscheinlich auf die ebenfalls unterschiedliche Grösse der Tiere zurueck zu fuehren. Ein Unterschied im Aufbau der Laterne findet sich in den Ansatzstellen der Muskeln an den entsprechenden Skelettplatten (Abb. 4). Diese sind bei *G. acutus* wesentlich grösser als bei *E. esculentus*. Möglicherweise könnte man dies auf eine unterschiedliche Ernährung zurueckfuehren, wodurch *G. acutus* mehr

Kraft beim “Beissen” aufwenden koennte. Allerdings handelt es sich bei beiden Arten um die gleichen Muskeltypen (Ziegler et al. 2012) und stimmen somit wieder ueberein. Der Verlauf des Verdauungstraktes ist bei beiden Arten sehr ähnlich. Er stimmt damit mit vielen Arten innerhalb der Echinoidea ueberein (Ziegler et al., 2008)

Da die Ähnlichkeit beider regulärer Seeigelarten sehr gross ist und sie in die gleiche Gruppe geordnet werden (Ziegler et al., 2009), wird im Folgenden nur noch von Echiniden gesprochen und nur im Falle von Unterschieden eine differenzierte Betrachtung vorgenommen.

Im Vergleich mit den echiniden Arten findet man viele Unterschiede bei *B. lyrifera*. Der grösste und auffälligste Unterschied, welcher gleichzeitig auch alle anderen untersuchten Merkmale beeinflusst, findet sich in der sekundär entwickelten bilateralen Symmetrie der Irregularia (Ziegler et al., 2009). Ein weiterer Unterschied kann in dem bei *B. lyrifera* vorhandenen Caecum gesehen werden. Auch hier handelt es sich um ein Merkmal welches bei irregulären Seeiegeln auftritt (Ziegler et al., 2010). Interessant ist, dass nur der After im Tier verschoben wurde, nicht aber die Madreporenplatte oder die Ausführungsgänge der Gonaden. Diese liegen, wie auch bei den Echiniden gegenueber der Mundöffnung. Weiterhin finden sich bei *B. lyrifera* eine grössere Anzahl von Variationen der Ambulakralfuesschen. Dies lässt sich mit der im Sediment eingegrabenen Lebensweise erklären. Durch die Schirmchenstruktur wird das Sediment vom Körper fern gehalten und

der Wasserstrom, welcher am Tier entlang gestrudelt wird, kann freier fließen (Ruppert et al., 2004).

Zusammenfassend lassen sich einige morphologische Unterschiede der Echiniden und Irre-

gularia durch einen Vergleich der hier untersuchten Arten feststellen. Eine Einordnung in verschiedene Gruppen, wie sie auch in anderen Untersuchungen etabliert wurde (Littlewood et al., 1995) erscheint somit sinnvoll.

## Literatur

- Afzelius, B.A.(1955): The ultrastructure of the nuclear membrane of the sea urchin oocyte as studied with the electron microscope. *Experimental Cell Research*, 8: 147 – 158
- Forster, G.R.(1959): The Ecology of *Echinus esculentus* L. Quantitative Distribution and Rate of Feeding. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 38: 361 - 367
- Littlewood, D.T.J. & Smith, A.B.(1995): A Combined Morphological and Molecular Phylogeny for Sea Urchins (Echinoidea: Echinodermata). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 347: 213 – 234
- Ruppert, E.E., Fox, R.S. & Barnes, R.D.(2004): *Invertebrate Zoology A Functional Evolutionary Approach*, 7th edition: Thomson Learning Inc.
- Ryland, J.S. & Hayward, P.J.(1995): *Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe*, first edition: Oxford University Press
- Wang, R.Z., Addadi, L. & Weiner, S.(1997): Design strategies of sea urchin teeth: structure, composition and micromechanical relations to function. *The Royal Society*, 352: 469 - 480
- Ziegler, A., Faber, F., Mueller, S. & Bartolomaeus, T.(2008): Systematic comparison and reconstruction of sea urchin (Echinoidea) internal anatomy: a novel approach using magnetic resonance imaging. *BMC Biology*, 6: 33
- Ziegler, A., Faber, C. & Bartolomaeus, T.(2009): Comparative morphology of the axial complex and interdependence of internal organ systems in sea urchins (Echinodermata: Echinoidea). *BMC Biology*, 6: 10
- Ziegler, A., Moor, R., Rolet, G. & De Ridder, C.(2010): Origin and evolutionary plasticity of the gastric caecum in sea urchins (Echinodermata: Echinoidea). *BMC Evolutionary Biology*, 10:313
- Ziegler, A., Schröder, L., Ogurreck, M., Faber, F. & Stach, T.(2012): Evolution of a Novel Muscle Design in Sea Urchins (Echinodermata: Echinoidea). *PLoS ONE* 7(5): e37520